

Bestimmung der Phosphorresorption aus Mineralfuttern
an Jungrindern und Schafen
nach der Isotopenverdünnungsmethode

Hannelore Seuss

1961

Aus dem Institut für Physiologie und Ernährung der Tiere
der Tierärztlichen Fakultät der Universität München

Vorstand: Professor Dr. Dr. Johannes Brüggemann

BESTIMMUNG DER PHOSPHORRESORPTION AUS MINERALFUTTERN
AN JUNGRINDERN UND SCHAFEN
NACH DER ISOTOPENVERDÜNNUNGSMETHODE

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der veterinärmedizinischen Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilian-Universität zu München

von

Hannelore Seuss

aus Freiburg/Brsg.

München 1961

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Universität München

Dekan: Prof. Dr. A. M e y n

Referent: Prof. Dr. Dr. J. Brüggemann

Tag der mündlichen Prüfung: 26. 7. 1961



"UNI"-Druck, München, Amalienstr. 85

I N H A L T

	Seite
<u>Einleitung</u>	
<u>Literatur</u>	2
A. Die Phosphor-Bilanz	2
B. Versuche zur Bestimmung des endogenen Kotphosphors mit Hilfe unresorbierbarer Indikatoren	3
C. Quantitative Bestimmung des endogenen Kotphosphors	4
1. Die phosphorarme und phosphorfreie Diät	4
2. Die Verwendung radioaktiven Phosphors	5
a) Orale Verabreichung radioaktiv markierter Phosphorverbindungen	5
b) Methode der dynamischen Isotopenverdünnung	8
c) Gleichzeitige Anwendung der Isotopenverdünnungsmethode und der komparativen Bilanz	11
<u>Eigene Versuche zur Phosphatresorption landwirtschaftlicher Nutztiere</u>	12
1. Methodik	12
a) Versuchsanordnung	12
b) Aufarbeitung der Proben	15
c) Chemische Phosphorbestimmung	16
d) Messung der Radioaktivität	16
2. Ergebnisse	17
<u>Diskussion</u>	28
Zur Methodik	28
Zu den Ergebnissen	29
<u>Zusammenfassung</u>	32
<u>Literaturverzeichnis</u>	34



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Mit erhöhten Leistungsanforderungen an unsere Nutztiere gewinnt die Mineralstoffsupplementa^ption bei der Fütterung steigende Bedeutung. Ihre Qualität wird in erster Linie durch die Resorbierbarkeit des Hauptbestandteiles Phosphat limitiert, zum anderen aber auch durch die Ansatzbereitschaft ausgewiesen. Während sich letztere aus der Bilanz ergibt, ist bis vor kurzem die exakte Ermittlung des Resorptionskoeffizienten besonders bei Wiederkäuern auf Schwierigkeiten gestoßen. Bei ihnen werden resorbierte Mineralanteile zum größten Teil über die Faeces ausgeschieden, wo sie sich mit den nicht verwertbaren Anteilen vermischen. Bisher war ihre Fraktionierung als Voraussetzung für die Ermittlung des Resorptionskoeffizienten nicht möglich. Erst die Isotopenverdünnungsmethode erlaubt weitgehende Einblicke in dieses Geschehen.

Herr Prof. Dr. Dr. Johs. Brüggemann hat mir im Rahmen umfangreicher Resorptionsstudien die Aufgabe gestellt, mit Hilfe der dynamischen Isotopenverdünnungsmethode den Resorptionskoeffizienten für Phosphor aus verschiedenartig zusammengesetzten Mineralstoffgemischen an Jungrindern und Schafen zu ermitteln.

L I T E R A T U R

In diesem Kapitel sollen nur die Methoden und Ergebnisse derjenigen Arbeiten besprochen werden, die sich mit der Resorption von Phosphor im Intestinum befassen und Wesentliches zur Methode bzw. neue Erkenntnisse mitzuteilen haben.

A) Phosphor-Bilanz

Die zur Verdaulichkeitsberechnung von Nährstoffen übliche Bilanzaufstellung wurde noch bis vor kurzem auch zur Bestimmung der Phosphor-Resorption angewandt. Die prozentuale Verdaulichkeit des zu untersuchenden Phosphors wurde nach folgender Formel berechnet:

$$\frac{a - (b + c)}{a} \times 100$$

wobei a den täglich mit dem Futter aufgenommenen Nahrungsphosphor und b den täglich im Kot ausgeschiedenen Gesamt-Phosphor darstellt. c = Harn-Phosphor.

Da aber im Kot sowohl unresorbiert gebliebener Nahrungs-Phosphor (exogener Kot-Phosphor) als auch vom Stoffwechsel sekretierter Phosphor (endogener Kot-Phosphor) erscheinen, stellt die Differenz nicht die tatsächliche Resorptionsquote des betreffenden Minerals dar. Bei den Ergebnissen dieser Methode sprechen wir deshalb von der "scheinbaren" Verdaulichkeit.

1922 stellten z.B. FORBES und Mitarb. (8) an 10 Milchkühen 18 Phosphor-Bilanzen auf, wobei sich bei einer täglichen Phosphor-Eingabe von 40,6 g pro Tier eine Tagesausscheidung von 32,6 g Phosphor im Kot, 13,4 g in der Milch und 0,545 g im Harn feststellen ließen. Auf Grund des hohen Phosphor-Gehaltes der Milch ergab sich demnach eine negative Bilanz, woraus hervorgeht, daß bei den betreffenden Rindern die Phosphor-Zufuhr im Hinblick auf die Leistung zu gering war. Weitere Aussagen sind mit einer solchen reinen Bilanzuntersuchung nicht möglich. Ohne Kenntnis von der Höhe des Stoffwechselphosphors im Kot sind keine Werte über die Höhe der Phosphorresorption zu erhalten und somit letztlich auch keine Bedarfsermittlungen für dieses Mineral möglich.

B) Versuche zur Bestimmung des endogenen Kotphosphors mit Hilfe unresorbierbarer Indikatoren:

Das Problem zur Bestimmung der "wahren" Resorptionsgröße liegt demnach in der Trennung des endogenen vom exogenen Phosphoranteil in den Faeces, die bei der chemischen Phosphorbestimmung bekanntlich nur als Summe erfaßt werden können. Der erste Weg hierzu wurde mit der Anwendung unresorbierbarer Indikatoren beschritten.

1926 hat BERGEIM (1) unresorbierbares Eisenoxyd als Indikatorsubstanz tierischen Rationen beigemischt. Durch Abnahme des Quotienten $P : Fe$ soll sich die Phosphatresorption gut bestimmen lassen, was unter der Voraussetzung stimmt, daß Phosphor nicht in den Darm hinein sekretiert wird. Um solche Untersuchungen auch für einzelne Darmabschnitte vornehmen zu können, empfahl BERGEIM die Anbringung von Darmfisteln an verschiedenen Stellen des Intestins.

Verhält sich zum Beispiel $P : Fe$ im Futter wie $1 : 1$ und im Chymus des Dünndarms einer Ratte wie $7 : 1$, so geht - nach Meinung des Autors - daraus hervor, daß bis hierher 30 % des Futterphosphates resorbiert worden seien. Steigt aber nun das Verhältnis $P : Fe$ im Dickdarm desselben Tieres auf $9 : 1$ an, dann seien 20 % als endogener Kotphosphor in den Darm sekretiert worden. Allerdings zeigte sich nach einer Reihe von Versuchen, daß der größte Teil des endogenen Phosphors bei Ratten schon in die vordersten Abschnitte des Dünndarms hinein sekretiert wurde.

Es ist zwar möglich, durch Bestimmung des P/Fe -Verhältnisses im Darminhalt eine Aussage über die "scheinbare" Phosphorresorption in den einzelnen Darmabschnitten zu machen, aber das Ausmaß der Phosphorsekretion bleibt nach wie vor unbekannt, und damit auch die "wahre" Verdaulichkeit. Der Resorptionskoeffizient wird auch hierbei wieder nur auf den mit dem Futter aufgenommenen Gesamtphosphor bezogen, ohne daß die endogene Kotphosphorfraktion berücksichtigt wird.

Dasselbe gilt für eine 1953 von FOURNIER (9) und Mitarb. publizierte Methode, in der Titanoxyd als Indikator zur Ermittlung der Phosphorresorptionsquote Anwendung findet. Bei neun erwachsenen Ratten, deren Futterration 0,3, 1,0 bzw. 3,0 % TiO_2 enthielt, wurde in verschiedenen Darmabschnitten das P/TiO_2 -Verhältnis ermittelt und der Resorptionskoeffizient von Phosphor nach folgender Formel errechnet:

$$\frac{\text{Nahrungs-P/TiO}_2 - \text{Kot-P/TiO}_2}{\text{Nahrungs-P/TiO}_2} \times 100$$

Da die Indikatormethode nach BERGEIM und FOURNIER und Mitarb. eine fraktionierte Bestimmung des endogenen und exogenen Kotphosphors nicht gewährleistet, kann man sie nur für die Verdaulichkeitsbestimmung solcher Stoffe verwenden, deren endogenen Anteile nicht über den Darmkanal ausgeschieden werden. Dann stellt sie im Vergleich zu einer Bilanzuntersuchung insofern eine Vereinfachung dar, als sich eine quantitative Erfassung der eingenommenen und ausgeschiedenen Mengen erübrigen kann. Die prozentuale Verdaulichkeit wird aus dem Quotienten

$$\frac{a - b}{a} \times 100$$

berechnet, wobei a die zu untersuchende Substanz pro Einheit Indikator im Futter und b die zu untersuchende Substanz pro Einheit Indikator im Kot ist.

Heute haben als Indikatoren hauptsächlich die genannten Verbindungen Titanoxyd (TiO_2) und Chromoxyd (Cr_2O_3) praktische Bedeutung.

C) Quantitative Bestimmung des endogenen Kotphosphors

1. Die phosphorarme und phosphorfreie Diät:

1937 hat NICOLAYSEN (23) an Ratten versucht, den endogenen Kotphosphor durch eine vorübergehend phosphorfreie Diät, also unter Ausschaltung der exogenen Fraktion Fraktion zu ermitteln: Wird mit der Nahrung keinerlei Phosphor aufgenommen, so muß der in den Faeces erscheinende Phosphor endogener Herkunft sein. Ist auf diese Weise die Größe des endogenen Anteils festgelegt worden, kann die Verdaulichkeit eines verfütterten Phosphates errechnet werden.

Die tägliche Futterration pro Ratte aus 4 % Agar, 1 % NaCl, 20 % Ei-Albumin und 75 % Dextrose (= Diät I) enthielt 2,3 mg Ca und 1,1 mg P. Die nach dieser Fütterung im Kot erscheinende Phosphormenge betrug im Durchschnitt

1 mg. Um festzustellen, ob es sich bei dieser täglichen Ausscheidung von 1 mg Phosphor um endogenen oder exogenen Kotphosphor handelt, wurden dieselben Tiere mit einer vollständig phosphorfreien Diät (= Diät II) ernährt: 95 % Dextrose, 4 % Agar und 1 % NaCl. Auch nach diesen Versuchen zeigte sich ebenfalls eine durchschnittliche Ausscheidung im Kot von 1 mg Phosphor pro Tag.

Daraus geht hervor, daß der an das Ei-Albumin gebundene Phosphor in Diät I zu 100 % resorbiert worden ist, und die im Kot ausgeschiedene Phosphormenge von 1 mg pro Tag sowohl bei Diät I als auch bei Diät II rein endogener Herkunft war. Allerdings weist der Autor selbst darauf hin, daß die Aussagen seiner Versuchsergebnisse wegen der unphysiologischen Fütterungsbedingungen nicht ohne Einschränkung verwertet werden dürfen.

Daß die endogene Phosphorquote im Kot von physiologisch ernährten Ratten tatsächlich aber bedeutend höher liegt, hat KJERULF - JENSEN (14) mit Hilfe der Isotopenverdünnungsmethode nachgewiesen, über die später noch zu sprechen sein wird. Nach Verabfolgung eines dem Phosphorbedarf der Ratte entsprechenden Futters wurden im Durchschnitt 13,2 mg Phosphor täglich als endogener Kotphosphor ausgeschieden. Bei phosphorfreier Diät dagegen betrug der endogene Phosphoranteil in ungefährer Übereinstimmung mit NICOLAYSEN nur 1,7 mg. Daraus folgt, daß der Organismus bei fehlendem Phosphorangebot seine Ausgaben auf ein Minimum reduziert.

2. Die Verwendung radioaktiven Phosphors:

Erst die Verwendung von radioaktiv markierten Phosphorverbindungen ermöglichte die endgültige Lösung des oben genannten Problems. Die Trennung der endogenen von der exogenen Kotphosphorfraction ist dabei auf zweierlei Weise möglich: Entweder wird der mit dem Futter zu verabreichende Phosphor markiert, oder aber der Stoffwechselphosphor des Tieres durch eine der Fütterung vorausgehende parenterale Injektion von P^{32} .

a) Orale Verabreichung radioaktiv markierter Phosphorverbindungen:

1935 haben CHIEWITZ und HEVESY (4) erstmalig markierte Substanzen zur Erforschung des Phosphorstoffwechsels in Anwendung gebracht: Nach peroraler Eingabe von 2 mg radioaktiven Phosphates betrug die P^{32} -Ausscheidung bei

Ratten am ersten Tag im Kot 7,4 % und im Harn 5,0 % der verfütterten Menge. In den folgenden Tagen fielen die Aktivitäten im Kot und Harn unregelmäßig ab und stellten sich im Verlauf von einer Woche auf etwa gleichbleibende Exkretionswerte unter 1 % der verabreichten P^{32} -Dosis ein.

Die anfängliche Aktivitätszunahme und ihre rasche Wiederabnahme in den Exkrementen wird durch den Radiophosphoranteil hervorgerufen, der als exogener Phosphor unresorbiert auf natürlichem Wege wieder abgegeben wird. Derjenige Teil des zugeführten P^{32} , der resorbiert und im Körper fixiert worden ist, wird allmählich durch weiterhin verfütterten inaktiven Phosphor ausgetauscht und im Harn exkretiert. - Als Aufenthaltsdauer einer einmalig zugeführten Dosis von P^{32} im Körper physiologisch ernährter Ratten werden von HEVESY (13) insgesamt acht Wochen angegeben. Um den endogenen Kotphosphor jedoch exakt erfassen zu können ist es notwendig, einen Parallelversuch an einer zweiten Gruppe von Tieren durchzuführen, in dem die Retention, d.h. der im Körper verbleibende markierte Phosphoranteil, durch parenterale Injektion von P^{32} ermittelt wird. Diese vergleichende Bilanz wurde von COHN und GREENBERG (5) entwickelt. - Als Vereinfachung dieser Methode wurde empfohlen, nicht gleichzeitig an zwei Tieren oder zwei Gruppen zu arbeiten, sondern nach Ausscheiden und Abklingen der mit dem Futter aufgenommenen Radioaktivität dieselben Tiere zum Ergänzungsversuch heranzuziehen.

Die genannten Autoren haben zum Beispiel nach dem erstgenannten Verfahren zwanzig Ratten verschiedener Altersklassen mit Hilfe der Magensonde eine markierte Phosphatlösung verabreicht. Sie ermittelten innerhalb von 48 Stunden eine "scheinbare" Resorption von durchschnittlich 65 %. Um die Resekretionsrate berechnen zu können, bekamen acht andere Ratten dieselbe P^{32} -Dosis intraperitoneal injiziert. Der nach 48 Stunden im Kot zu messende Radiophosphor lag zwischen 0,5 % und 2,0 % der Ausgangsmenge. Diese Größe wurde von den entsprechenden Werten der Versuchsgruppen abgezogen, die den aktiven Phosphor mit der Magensonde zugeführt bekamen. Die "wahre" Resorptionsquote des Phosphates lag demnach zwischen 63 und 64,5 %.

LOFGREEN, KLEIBER und LUICK (18) haben diese Resekretionsrate auf anderem Wege ermittelt. Unter dieser wird bekanntlich der Anteil eines oral verabreichten Radiophosphates verstanden, der zuerst resorbiert, dann jedoch innerhalb einer Passagezeit wieder über den Darm exkretiert wird. Vier Kälber wurden mit P^{32} -markiertem Casein gefüttert, das aus der Milch eines laktieren-

den Rindes nach Injektion einer Radiophosphorlösung gewonnen worden ist. Sobald der mitverabreichte Indikator im Kot erschien - etwa nach 18 - 30 Stunden - wurde dieser gesammelt und die physikalische und chemische Phosphorbestimmung durchgeführt. Der quantitativen Ermittlung des endogenen Kotphosphors liegt nachstehende Überlegung zugrunde: Wird der radioaktive Phosphorgehalt des Kotes nur aus dem unverdauten P^{32} -Casein gestellt, dann muß jede Vergrößerung des P^{31}/P^{32} -Verhältnisses im Kot von inaktivem, endogenem Phosphor bewirkt werden, zumal der Quotient des unresorbiert gebliebenen Caseins gleich groß ist wie im Futter. Da aber nach ungefähr fünf Stunden bereits resorbierter Radiophosphor wieder in den Darm sekretiert wird, ist im Kot außer dem unverdauten, markierten Phosphor auch dieser P^{32} -Anteil der Resekretionsquote vorhanden. Die Größe der Resekretion ist von den Autoren in einem Vorversuch festgestellt worden (19).

Zunächst wurde der bei radioaktiver Caseinfütterung festgestellte P^{32} -Gehalt des Blutes ermittelt und an anderen Tieren durch mehrmalige Injektionen von aktivem Phosphat auf gleichbleibender Höhe kopiert. So konnte gezeigt werden, daß innerhalb von 24 Stunden 2,5 % des in der Blutbahn kreisenden Radiophosphors mit dem Kot ausgeschieden wurden. Die ersten Aktivitäten erschienen dabei in dem Faeces bereits fünf Stunden nach der ersten Injektion; daraus folgt, daß für entsprechende Berechnungen der jeweils um fünf Stunden frühere Plasmawert mit den Aktivitäten im Kot verglichen werden muß. Von der fünften Stunde an konnte zur Berechnung der Resekretionsrate für die P^{32} -Konzentration in den Faeces folgende Gleichung aufgestellt werden:

$$r = 0,12x - 0,57$$

wobei r = die korrigierte spezifische Aktivität des resekretierten Phosphors und
 x = die Zeit nach der ersten Injektion zwischen der 5. und 34. Stunde ist.

Als Beispiel seien die Verhältnisse bei einem Kälbersversuch angeführt. In der 24-Stunden-Kotportion ist nach der radioaktiven Caseinfütterung eine korrig. spez. Aktivität von 92,0 festzustellen. Die korrig. spez. Aktivität des resekretierten Phosphors beträgt nach obiger Formel nach 24 Stunden:

$$r = 0,12 \times 24 - 0,57$$

$$r = 2,31.$$

Unter Einbeziehung des ersten Wertes sind das 2,5 % der Gesamt- P^{32} -Ausscheidung.

Ein Nachteil dieser Arbeitsmethoden liegt darin, daß sich das Endresultat nur nach den Vorgängen einer einzigen Passage richtet, wodurch größere Streuungen zu erwarten sind. Außerdem ist es schwierig, oftmals sogar unmöglich, den Phosphor in vielen Futterarten zu markieren.

Daher ist erstaunlich, daß der 1939 von HEVESY, HAHN und REBBE (12) gemachte Vorschlag nicht mehr beachtet worden ist, bei Resorptionsbestimmungen den endogenen Phosphor durch vorherige Markierung des Stoffwechselphosphors zu kennzeichnen.

b) Methode der dynamischen Isotopenverdünnung:

Das Prinzip dieser von HEVESY, HAHN und REBBE (12) publizierten Methode zur Ermittlung des endogenen Kotphosphors beruht auf der Überlegung, daß einige Zeit nach Verabreichung von Radiophosphor die spezifischen Aktivitäten, d.h. das Verhältnis von P^{32} : P^{31} des anorganischen Plasmaphosphors und des endogenen Kotphosphors von gleicher Größe sein müssen. Dies trifft natürlich nur dann zu, wenn der inaktive Nahrungsphosphor vollständig resorbiert wird. Ist aber die Resorption nur teilweise erfolgt, dann wird die spezifische Aktivität des Kotphosphors durch inaktiven Futterphosphor "verdünnt"; sie muß also kleiner sein als diejenige des Plasmaphosphors. Folglich kann aus dem Verhältnis

$$\frac{\text{spez. Aktivität des Kot-P}}{\text{spez. Aktivität des anorgan. Plasma-P}} \times 100$$

der prozentuale Anteil des endogenen Kotphosphors berechnet werden. Diesen ermittelten zum Beispiel HEVESY und Mitarb. (12) an Ratten 98 Tage nach subcutaner Verabreichung von Radiophosphor in Höhe von 41 % des Gesamtkotphosphors. Die restlichen 59 % stammten demnach aus unresorbiert gebliebenem Nahrungsphosphor.

Die oben aufgestellte Relation wird allerdings erst dann gültig, wenn nach der Injektion der Radiophosphatlösung ein genügend großer Zeitraum verstrichen ist, in dem sich die spezifischen Aktivitäten in allen Geweben in ein Gleichgewicht eingestellt haben. Frühestens wird dieses "steady state" sieben Tage post injectionem erreicht.

Im Jahre 1941/42 ist von KJERULF - JENSEN (14) - der als erster Autor die Gültigkeit obiger Beziehungen bestätigt hat - nachgewiesen worden, daß bei Ratten die spezifische Aktivität des anorganischen Plasmaphosphors gleich derjenigen des Harnphosphors ist. Der prozentuale endogene Kotphosphor wird

berechnet aus:

$$\frac{\text{spez. Aktivität des Kot - P}}{\text{spez. Aktivität des Harn- P}} \times 100$$

Bei fünf normal ernährten Ratten wurde auf diese Weise drei Wochen nach subcutaner P^{32} -Injektion der endogene Kotphosphor ermittelt. Die Ergebnisse lagen zwischen 38,5 und 55 % des Gesamtkotphosphors. Dies bedeutet, daß durchschnittlich 53,2 % des Nahrungsphosphors nicht resorbiert worden sind. - Die Übereinstimmung der spezifischen Aktivitäten in Plasma und Harn von Ratten bedeutet insofern eine wesentliche Vereinfachung der bisherigen Methode zur Erfassung des prozentualen endogenen Kotphosphors, als auf die wiederholten, zeitraubenden, für das Tier unangenehmen Blutentnahmen verzichtet werden kann.

1952 bestimmte BUYSSE (3) nach derselben Weise, jedoch unter Benutzung des Serums als Vergleichssubstanz, den endogenen Kotphosphor, und damit den Resorptionskoeffizienten bei erwachsenen Rindern. Die nach subcutaner Injektion von 2,5 - 3 mC P^{32} ermittelten Werte fielen bei einer Erhöhung des Ca/P-Verhältnisses im Futter von 0,25 auf 2,1 ab von 69,4 % auf 45,9 % des Gesamtkotphosphors.

KLEIBER, SMITH und Mitarb. (15) gehen bei ihren Versuchen an Rindern ebenfalls von der Überlegung aus, daß nach parenteraler Verabreichung radioaktiven Phosphates die spezifischen Aktivitäten von anorganischem Plasma-phosphor und endogenem Kotphosphor gleich groß sein müssen. Die Gleichung für die Berechnung des endogenen Kotphosphors wurde folgendermaßen abgeleitet: Die tägliche Gesamtphosphorausscheidung im Kot betrage b g, wovon c g endogener Herkunft seien. Enthält der Kot f Einheiten P^{32} pro g inaktiven Phosphors, so wird täglich b x f P^{32} exkretiert. Befinden sich im Blut p Einheiten P^{32} pro g inaktiven Phosphors, dann wandert täglich p x c P^{32} in die Faeces; also

$$c \times p = b \times f$$

$$c = \frac{b \times f}{p}$$

Da bei diesen Versuchen das Maximum der spezifischen P^{32} -Aktivität post injectionem im Kot erst 2 - 3 Tage später als im Blut erreicht wird, kann

deutlicher formuliert werden:

$$c \times p_{(t)} = b \times f_{(t+2)}$$

$$c = \frac{b \times f_{(t+2)}}{p_{(t)}}$$

wobei c = endogener Kot-P in % des Gesamtkot-P,

f = spez. Aktivität des Kot-P zur Zeit t + 24 Stunden.

p = spez. Aktivität des anorgan. Plasma-P zur Zeit t.

Am gleichen Wege ermittelten LOFGREEN und KLEIBER (16) bei Schafen die "wahre" Verdaulichkeit von Phosphor aus verschiedenen Heuarten. Zur Kennzeichnung des Stoffwechselphosphors wurden hierzu während einiger Tage i. v. -Injektionen einer radioaktiven Natriumphosphatlösung durchgeführt. - Erst 1954 erfolgte anstelle der wiederholten i. v. -Injektionen eine einmalige subcutane Applikation einer markierten Natriumphosphatlösung. Hierbei erscheint das Maximum der P^{32} -Aktivität im Serum nach 24 Stunden, im Kot nach 48 Stunden. Vom 4. Tag an folgen die P^{32} -Konzentrationen von Blut und Kot in Relation zur Zeit einer logarithmischen Funktion, die vom 7. Tag an immer mehr einen linearen Verlauf einnimmt. Die "steady state" wird also bei Schafen am 7. Tag post injectionem erreicht.

Bei Routineuntersuchungen zur Bestimmung der "wahren" Verdaulichkeit verschiedener Futterphosphate genügt es demnach, die spezifische Aktivität in Serum und Kot lediglich vom 7. Tag ab zu untersuchen. Zur Vereinfachung der Arbeitsmethoden schlagen die Autoren vor, die Plasmaaktivität nur am 7. und 13. Tag, die des Kotes am 8. und 14. Tag post injectionem zu ermitteln und daraus den Mittelwert als endgültiges Ergebnis zu berechnen. Außerdem wäre es möglich, die während der Versuchszeit anfallenden Kotmengen zu homogenisieren und hiervon nur einen Durchschnittswert aufzustellen. Die Errechnung des Resorptionskoeffizienten erfolgt nach der Formel:

$$\frac{a - (b - c)}{a} \times 100$$

wobei a = tägliche Gesamtphosphorzufuhr,

b = tägliche Gesamtphosphorausscheidung im Kot und

c = endogener Kotphosphor / Tag.

Weiter haben LOFGREEN und KLEIBER (17) überprüft, ob bei Schafen die spezifische Aktivität des Harnphosphors derjenigen des anorganischen Plasma-phosphors gleichgesetzt werden kann, wie es von HEVESY (13) und KJERULF - JENSEN (14) bei Ratten bewiesen worden ist.

Die Untersuchungen blieben ohne positives Ergebnis.

LUICK und LOFGREEN (22) beschrieben 1957 eine weitere methodische Änderung zur Erfassung des endogenen Kotphosphors: Anstelle der subcutanen Injektion einer radioaktiven Natriumphosphatlösung trat die einer Suspension aus markiertem Tricalciumphosphat. Das "steady state" wurde bereits 3-4 Tage nach Verabreichung von $\text{Ca}_3(\text{P}^{32}\text{O}_4)_2$ erreicht, womit eine Zeitersparnis erreicht werden soll.

c) Gleichzeitige Anwendung der Isotopenverdünnungsmethode und der komparativen Bilanz:

HANSARD und Mitarb. (10) haben zur Bestimmung des endogenen Kotcalciums das Verfahren der komparativen Bilanz vorgeschlagen, das neben der Isotopenverdünnungsmethode von TILLMAN und BRET HOUR (24/25) auch bei den Verdaulichkeitsuntersuchungen von Phosphor aus Dicalciumphosphat und Phosphorsäure bei je sechs einjährigen Herfordstieren angewandt wurde.

Nach 14-tägiger Vorfütterung der Versuchstiere - die tägliche Ration enthielt 23 g Calcium und 10,16 g Phosphor - erhielten drei von ihnen 1 mC P^{32} peroral, die restlichen dieselbe Dosis intravenös verabreicht. Die 7-tägige Sammelperiode begann bei letzteren sogleich, ohne das "steady state" abzuwarten. Der endogene Kotphosphor wurde hier aus der von HANSARD (10) aufgestellten Beziehung errechnet:

$$c = \frac{100 - \text{Kot-P}^{32}}{1 - R} - (100 - \text{Gesamtkot-P})$$

wobei c = endogener Kotphosphor in % des Gesamtkotphosphors und
R = die Resekretionsquote des oral verabreichten Radiophosphates ist, deren Bestimmung an einem zweiten Versuchstier nach i. v. P^{32} -Injektion erfolgen muß.

Bei Verfütterung einer Dicalciumphosphatzulage ergab sich ein Phosphorresorptionskoeffizient von $75,2 \pm 2,5 \%$, der sich von dem der Phosphorsäure von $76,3$

$\pm 3,2\%$ nicht wesentlich unterschied. - Bei gleicher Versuchsanordnung wurde an zwölf Schafen die "wahre" P-Verdaulichkeit von Calciumphytat und Monocalciumphosphat untersucht. Die Tiere erhielten eine tägliche Ration von 3,37 g Calcium und 2,14 g Phosphor; hier zeigte sich eine Phosphoresorption von 62,6 bzw. 69,6 %. - An Hand vergleichender Untersuchungen stellten die Autoren fest, daß zwischen beiden Verfahren zur Bestimmung des endogenen Kotphosphors und damit des Resorptionsquotienten keine befriedigende Übereinstimmung zu erzielen ist. Die Isotopenverdünnungsmethode ergab für beide Supplemente höhere Werte der Phosphorverdaulichkeit als die nach der komparativen Bilanz, während die gleichzeitig durchgeführte Bestimmung der Calciumresorption nach beiden Methoden übereinstimmende Werte lieferte. Dies wurde auch von COMAR und Mitarb. (6) bestätigt.

Die zuletzt genannten Autoren haben aber ausdrücklich betont, daß die Methode der komparativen Phosphorbilanz solange ungeeignet ist, wie der Resorptionsgrad des hierbei oral zu verabfolgenden radioaktiven Indikators nicht mit den entsprechenden Mineralstoffbestandteilen des Futters übereinstimmt. Dieser Umstand muß aber bei den Verdaulichkeitsuntersuchungen von Mineralstoffverbindungen verschiedener Herkunft angenommen werden.

Aus der Gesamtheit dieser Darlegungen ergibt sich, daß die dynamische Isotopenverdünnungsmethode zur Erfassung des endogenen Kotphosphors - und damit des "wahren" Resorptionsprozentsatzes von Phosphaten verschiedenster Futterquellen - die Methode der Wahl darstellt. Die bisherigen Resorptionsergebnisse sind in Tabelle 5 zusammengestellt.

EIGENE VERSUCHE ZUR PHOSPHATRESORPTION LANDWIRTSCHAFTLICHER NUTZTIERE

1. Methodik:

a) Versuchsanordnung: (Versuchstiere, Versuchsdurchführung)

Zur Bestimmung der Resorptionsquote verschiedener Futterphosphate nach der Isotopenverdünnungsmethode standen als Modell für wachsende Wiederkäuer vier weibliche Jungrinder des deutschen Niederungsirides im Alter von sieben bis acht Monaten, sowie - als Beispiel für erwachsene Wiederkäuer - zweijährige Hammel vom Typ des württembergischen Merinolandschafes mit einem Gewicht zwischen 45 und 50 kg zur Verfügung. Die Tiere stammten ausschließ-

lich aus anerkannten Zuchtherden. Sowohl die Jungrinder als auch die Schafe waren unter sich hinsichtlich Alter und Körpergewicht gleich.

Die Rationen der vier JUNGRINDER setzten sich aus täglich 1,3 kg Heu, 50 g Casein, 15 g Harnstoff, 10 g Kochsalz und 300 000 I.E. Vitamin A zusammen. Das Heu hatte einen Trockensubstanzgehalt von 88,06 %. Weitere Nährstoffanalysen des Heus ergaben in %: Asche = 6,71, N-freie Extraktstoffe = 44,58, Rohfaser = 24,33, Rohprotein = 9,12, Rohfett = 3,32, Calcium = 0,91, Phosphor = 0,223 und 28,6 mg Carotin pro kg. Als Supplement für diese Versuche waren Dicalciumphosphat und Thomasmehl vorgesehen, und zwar täglich eine Menge, die 6 g Phosphor entsprach. Diese waren in 35 g Dicalciumphosphat und 78 g Thomasmehl enthalten. - Das Dicalciumphosphat wurde von der Fa. Merck mit der Bemerkung "gereinigt, getrocknet, gepulvert, für Genußzwecke" geliefert und hatte einen Gehalt an Asche von 73,86 %, Calcium = 24,6 % und Phosphor 17,0 %. Die Gehalte des Thomasmehls in % waren: Asche = 97,28, Calcium = 37,75 und Phosphor = 7,7. Die verfütterte Gesamtration enthielt demnach 21,1 g bzw. 41,5 g Calcium und beide Male 9,3 g Phosphor. 64,5 % von dieser Gesamtphosphorzufuhr pro Tag wurden dem Versuchstier in Form des jeweiligen Supplementes verabreicht.

Bei den acht HAMMELN wurden im ganzen vierzehn Messreihen durchgeführt mit drei verschiedenen zusammengesetzten Mineralstoffmischungen des Tranatogen-Werkes Elmshorn und einem Knochenfuttermehl. Sechs der Tiere wurden dabei nach einiger Zeit, d.h. nach Ausscheiden bzw. Abklingen der Radioaktivität ein zweites Mal zur Bestimmung eines Resorptionskoeffizienten herangezogen. Für sämtliche Versuche wurde eine Grundration zusammengestellt, die für die Schafe wichtige Nährstoffe enthält, andererseits aber phosphorarm ist. Dieses Gemisch bestand aus 76,3 % Weizenmehl, 15,1 % Melasse, 7,2 % Säurecasein, 0,65 % Harnstoff, 0,65 % Kochsalz und 0,1 % Magnesiumsulfat. Die Schafe erhielten hiervon täglich 500 g und zusätzlich noch durchschnittlich 300 g eines phosphorarmen Roggenstrohhäckfels.

Im einzelnen wurden als Zulage für die Schafe Nr. II, IV, IX und X 38,5 g einer Mineralstoffmischung A "Salvana", Tranatogen-Werk Elmshorn gegeben mit folgenden Komponenten: 49,4 % kohlensaurer Futterkalk, 33,0 % Knochenfuttermehl, 8,0 % phosphorsaurer Futterkalk, 5,5 % Viehsalz mit 9,09 % Spurenelementen angereichert, 2,1 % Magnesiumchlorid, 2,0 % Würzstoffe.

Die Tagesration für diese Tiere enthielt demnach insgesamt 15,89 g Calcium und 3,04 g Phosphor. Das Verhältnis Ca : P lag bei 5,2 : 1.

Bei den Hammeln Nr. I und III wurden als Supplement 36,4 g einer Mineralstoffmischung B ("Salvana", Tranatogen-Werk Elmshorn) verabreicht, die sich aus 32,0 % Bolus alba, 31,5 % synthetischen Phosphorsäureträgern, 22,0 % Calciumkarbonat, 10,0 % Viehsalz, 3,0 % Magnesiumoxyd, 1,0 % Würzstoffen und 0,5 % Spurenelementen zusammensetzte. Dies entsprach einer Gesamtzufuhr von 10,08 g Calcium und 3,04 g Phosphor pro Tier und Tag. Ca : P = 3,55 : 1.

Bei den Tieren Nr. V, VI und VIII wurden als zu testende Zulage 40 g eines Mineralstoffgemisches C ("Salvana", Tranatogen-Werk Elmshorn) verwendet mit 27,0 % Bolus alba, 32,5 % eines anderen synthetischen Phosphorsäureträgers, 26,0 % Calciumkarbonat, 10,0 % Viehsalz, 3,0 % Magnesiumoxyd, 1,0 % Würzstoffe und 0,5 % Spurenelemente. Die Gesamtcalciumzufuhr pro Tier und Tag betrug 11,3 g, die des Phosphors 3,04 g. Der Quotient Ca : P verhielt sich wie 3,5 : 1.

Als Supplement für die Schafe Nr. XI bis XIV wurden 15 g Knochenfuttermehl zugefüttert. Die gesamte Gabe an Calcium belief sich auf täglich 8,61 g, an Phosphor auf 3,04 g; der Ca/P-Quotient lag also bei 2,83.

Kleinere Abweichungen von diesen Mineralzufuhren, die durch eine gelegentlich unterschiedliche Futteraufnahme der Tiere bedingt waren, werden in den Tabellen 1, 2 und 3 vermerkt.

20 bis 25 Tage vor Versuchsbeginn wurden die betreffenden Tiere durch die entsprechende Diätfütterung vorbereitet. Das Eingeben der phosphorhaltigen Supplemente erfolgte bei den Kälbern in wässriger Aufschwemmung mit Hilfe einer Saugflasche, täglich auf ein Mal eingegeben, bei den Schafen in pulverisierter Form vermischt mit der Grunddiät. Die täglichen Futterrationen waren so bemessen, daß die Tiere die Nahrung vollständig verzehrten. Etwaige Nahrungsreste, die sich am Boden oder an den Wänden der Futtertröge festsetzten, wurden gelockert und dann aufgenommen, so daß für gewöhnlich eine Rückanalyse nicht erforderlich war.

Bereits einige Tage vor der eigentlichen Versuchsperiode wurden die Tiere in Stoffwechselkäfige untergebracht, in welchen die Gewinnung der abgesetzten Kot- und Harnausscheidungen getrennt und ohne Verlust gewährleistet war.

Nach der Eingewöhnung begann die Meßperiode und zwar acht bis neun Tage nach der subcutanen Injektion des Radiophosphates zur Markierung des Stoffwechselphosphors. Die Kälber erhielten dabei eine Dosis von 7 mC, die Hammel zwischen 4 und 5 mC trägerloses P^{32} -Orthophosphat in verdünnter HCl-Lösung mit einem pH-Wert von 3-4. Da bei diesen Versuchstieren die spezifische Aktivität im Blutserum zur Zeit t mit der des Kotes erst zur Zeit t + 24 Stunden verglichen werden kann (siehe hinten), wurden abwechselnd an einem Tag Blut entnommen und am nächsten Tag die in den folgenden 24 Stunden angefallene Kotmenge analysiert. Für einen Versuch sind im Durchschnitt sechs Einzelwerte aufgestellt worden, um zu einem besseren Durchschnittsergebnis zu kommen. Zusammen mit den jeweils aufgenommenen und mit den Faeces ausgeschiedenen Phosphormengen kann hieraus der Resorptionskoeffizient errechnet werden. Auf die mathematischen Beziehungen wird unter "Ergebnisse" nochmals eingegangen. Ein Schaf erhielt nach der von LUICK und LOFGREEN (22) empfohlenen Methode als Indikator ein am Phosphoratom markiertes Tricalciumphosphat, suspendiert in einer Stärkelösung, subcutan injiziert. Hier wurde schon nach dem vierten Tag das "steady state" erreicht. Im Verlauf dieser Versuchsreihe wurden bis zum zehnten Tag täglich Blut- und Kotproben auf ihren Gehalt an aktivem und inaktivem Phosphor analysiert.

Um die günstigen Erfahrungen von KJERULF-JENSEN (14) bei der Benutzung des Harns zur Feststellung der Höhe des endogenen Phosphors zu überprüfen, wurde bei sieben Schafen, parallel zu den Blutuntersuchungen, die in vierundzwanzig Stunden aufgefangene Harnmenge auf ihren Gehalt an P^{32} und P^{31} untersucht.

b) Aufarbeitung der Proben:

Blut: Das aus der Vena jugularis entnommene Blut wurde mit einer ausreichenden Menge Natriumcitrat versetzt und anschließend 20-30 Minuten lang bei einer Tourenzahl von 2000 - 2500 U/Min. zentrifugiert. Jeweils 10 ml des überstehenden Serums wurden mit gleichen Teilen einer 20%igen Trichloressigsäure enteiweißt und abfiltriert. Sowohl zur chemischen Phosphoranalyse als auch zur Messung der Radioaktivität wurden jeweils 2 ml des Trichloressigsäurefiltrates (TCF) verwendet.

Faeces: Die Kotmenge von 24 Stunden wurde in engmaschigen Drahtkörben bei 80 - 110 Grad Celsius bis zur Gewichtskonstanz im Umlauftrockner getrock-

net, anschließend gewogen, gemahlen und durch Schütteln homogenisiert. 500 mg dieser Trockensubstanz (TS) wurden in 100 ccm - Kjeldahlkolben eingewogen, mit 10 - 15 ml Oxydationsreagenz (einem Gemisch aus 200 ccm Perchlorsäure, 150 ccm Schwefelsäure und 150 ccm Aqua dest.) versetzt und über kleiner Flamme bis zur klaren Farblosigkeit unter dem Abzug verascht; der Aufschluß mit Ammoniak neutralisiert, auf 50 ml aufgefüllt, gemischt und mit je 2 ml die chemische Bestimmung des Phosphors und die Strahlenmessung durchgeführt.

H a r n : 25 ml der in 24 Stunden ausgeschiedenen Harnmenge wurden nach ausgiebigem Durchmischen in einem 250 ccm - Kjeldahlkolben eingedampft und - wie die Trockensubstanz des Kotes - bei mäßiger Hitze naß verascht, auf 50 ccm aufgefüllt und 2 ml davon wie oben analysiert.

c) Chemische Phosphorbestimmung:

Der Phosphor wurde nach FISKE und SUBBAROW (7) bestimmt. Das Prinzip beruht hier auf der Reduktion des farblosen Phosphormolybdän - Komplexes zu blauem Molybdänoxid. Als Reduktionsmittel wurde Aminoaphtholsulfonsäure verwendet, bekannt unter dem Handelsnamen Eikonogen. Die Intensität der Blaufärbung ist in 1 ccm - Küvetten bei Filter S 72 gegenüber Aqua dest. als Blindwert im Stufenphotometer Zeiss (Elko II) gemessen worden. Zunächst wurde die Phosphorkonzentration mit Hilfe der Eichkurve ermittelt; später durch Benutzung des Faktors 0,179, mit dem die Extinktion multipliziert werden mußte, um den Gehalt an mg Phosphor in 2 ml zu erhalten.

Bei einigen Blut- und Kotphosphoranalysen sind vergleichsweise Parallelmessungen mit der Ammoniummolybdatfällung nach LORENZ (21) durchgeführt worden, womit gleiche Ergebnisse erzielt werden konnten.

d) Messung der Radioaktivität:

Als markierte Substanz wurde in diesen Versuchsreihen radioaktiver Phosphor verwendet, der chemisch als Orthophosphat in verdünnter HCl-Lösung mit einem pH-Wert zwischen 3 und 4 vorlag. Bezogen wurde diese radioaktive Substanz über das Isotopenlaboratorium in Göttingen. Die Ermittlung der P^{32} -Aktivität im Blutserum und im Harn als auch die im Kot erfolgte in flüssiger Form. Als Meßgerät stand ein Geiger-Müller-Zähler FH 49 der Firma Frieske &

Höpfner GmbH aus Erlangen-Bruck zur Verfügung. In 2,5 ccm-Küvetten wurden die zu messenden Präparate dicht unter die empfindliche Glimmerfolie des Glockenzählrohrs mit der Massenbelegung von 1,5 mg/qcm gebracht, das nach außen hin durch einen Bleimantel von der Höhenstrahlung abgeschirmt wurde. Jedes Präparat ist während einer Zeit von 3 - 10 Minuten gemessen worden. Es wurden anschließend die üblichen Korrekturen wie Nulleffekt und Zerfallsrate berücksichtigt.

2. Ergebnisse:

Zusammen mit LÖRCHER ist der Verlauf der spezifischen Aktivität in Blutserum und Faeces zwischen dem 1. und 20. Tag nach der radioaktiven Injektion an einem zweijährigen Hammel nochmals überprüft worden. Die im einzelnen bei LÖRCHER (20) angeführten Ergebnisse haben bestätigt, daß das Aktivitätsmaximum in den Faeces erst 24 Stunden nach dem im Trichloressigsäurefiltrat des Serums erreicht wird. Anschließend ist in beiden Organen ein exponentieller Aktivitätsabfall festzustellen, der vom 7. Tage an einen nahezu linearen Verlauf zeigt. Infolgedessen wurden alle Probenentnahmen und die sich daran anschließenden Messungen in der Zeit zwischen dem 7. und 20. Tag nach der Injektion der Indikator-dosis durchgeführt, wobei einmal das Serum, am darauffolgenden Tag die entsprechende Faecesprobe analysiert wurde. Die spezifische Serum- bzw. Harnaktivität wurde mit der 24 Stunden später zu messenden Aktivität der Faeces in Beziehung gesetzt.

Als Beispiel für den Berechnungsgang werden willkürlich die Werte vom Schaf Nr. VIII herausgegriffen. Der endogene Phosphoranteil in % der täglich in den Faeces ausgeschiedenen Gesamtphosphormenge läßt sich wie folgt erfassen: Insgesamt sechs Proben aus einer homogenisierten 24-Stunden-Kotportion ergaben im Durchschnitt in 2 ml Aufschluß 0,166 mg Phosphor. In demselben Volumen wurde in einem Parallelansatz die Radioaktivität gemessen. Sie ergab nach Berichtigung der Werte durchschnittlich 246,8 Impulse. Die spezifische Aktivität wurde definiert

$$\frac{P^{32}}{P^{31}},$$

beträgt also im vorliegenden Fall 1487. Da sich der endogene Kotphosphoranteil jedoch aus der Beziehung

$$\frac{\text{korrig. spez. Akt. des Kot-P}}{\text{korrig. spez. Akt. des TCF-P}} \times 100$$

errechnet, ist dieser Wert noch durch die korrigierte spezifische Aktivität im Trichloressigsäurefiltrat des Serums zu dividieren; er betrug hier 2403, woraus sich ergibt, daß der endogene Kotphosphor

$$= \frac{1487}{2403} \times 100 = 61,9 \%$$

der täglichen Gesamtphosphorausscheidung beträgt.

Dieses Schaf hat während der ganzen Versuchsperiode täglich 3,4 g Nahrungsphosphor zu sich genommen und durchschnittlich 2,49 g Phosphor durch den Kot ausgeschieden. Davon sind 61,9 %, entsprechend 1,54 g endogener Herkunft und der Rest von 0,95 g demnach exogenen Ursprungs. Erwähnenswert ist, daß - wie aus Abbildung D hervorgeht - das Verhältnis von Gesamtkotphosphor zu endogenem Kotphosphor im Verlauf eines Versuches konstant ist. Die Steigung der Nullpunktgeraden hängt nur von der Größe des Resorptionsumfangs ab. Der Resorptionskoeffizient ergibt sich aus der Gleichung:

$$\frac{a - (b - c)}{a} \times 100$$

wobei a = die tägliche Gesamtphosphorzufuhr,

b = die tägliche Gesamtphosphorausscheidung im Kot,

c = die endogene und

b-c = die exogene Phosphorrate ist. Im gewählten Beispiel lauten die entsprechenden Durchschnittswerte:

$$\frac{3,4 - (2,19 - 1,54)}{3,4} \times 100 = 72,0$$

Der Resorptionskoeffizient beträgt demnach bei diesem Tier unter den genannten Ernährungsbedingungen 72 %.

Die bei der Bilanz und der dynamischen Isotopenverdünnungsmethode zur Ermittlung des Resorptionsquotienten erhaltenen Werte sind für die Jungrinder und Schafe als Durchschnittsergebnis in den Tabellen 1 - 3 niedergelegt. Die jeweils an sechs verschiedenen Tagen analysierten Einzelwerte sind nur in einem Fall von Schaf Nr. VIII in Tabelle 4 wiedergegeben. Bei den Durchschnittsergebnissen sind die wichtigsten mit ihrer Standardabweichung ange-

geben, die nach der Formel

$$m = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{\sum \Delta^2}{n-1}}$$

errechnet worden ist.

n bedeutet hierbei die Anzahl der Einzelanalysen und Δ die Summe der Fehlerquadrate.

Wie im Kapitel "Methodik" bereits erwähnt, wurden in einigen Fällen bei Schafen vergleichsweise auch die spezifischen Aktivitäten des Harns bestimmt und mit denen des Blutserums und schließlich mit denen der Faeces verglichen (Abbildung A, B und C).

Die Mittelwerte aus den zur gleichen Zeit wie die Faecesproben gesammelten Tagesharnportionen ergaben in 2 ml einen durchschnittlichen Phosphorgehalt von 0,071 mg. Die gemessenen radioaktiven Impulse betrugen 169,9, woraus sich eine spezifische Aktivität von 2392 errechnet. Diesen Wert in obige Gleichung eingesetzt, ergibt 62,1 % endogenen Kotphosphors, gemessen an der Gesamtphosphorausscheidung. Dies sind 1,55 g endogener bzw. 0,94 g exogener Kotphosphor. Der Resorptionskoeffizient errechnet sich wie folgt:

$$\frac{3,4 - (2,49 - 1,55)}{3,4} \times 100 = 72,3 \%$$

Zusammengefaßt lauten die Resorptionsquotienten vergleichsweise gemessen am Trichloressigsäurefiltrat des Serums bzw. im Harn:

Zusammen mit LÖRCHER (20) wurde die von LUICK und LOFGREEN (22) empfohlene Methode als Tracer ein am Phosphoratom markiertes Tricalciumphosphat, suspendiert in einer Stärkelösung, subcutan zu injizieren an drei Schafen untersucht. Tatsächlich wurde hier das "steady state" schon nach dem vierten Tag erreicht. Die Blut- und Kotproben wurden auf ihre spezifische Aktivität zehn weitere Tage überprüft. Übereinstimmend zeigten sich dabei bis zu 22 % zu niedrige Werte verglichen mit der üblichen Isotopenverdünnungsmethode unter Benutzung von trägerlosem P^{32} -Orthophosphat als Indikatordosis. Die Ursache dieser Erscheinung konnte im Zusammenhang dieser Versuche noch nicht geklärt werden.

Schafe		TCF		Harn	
Versuchs-Nr.	Mineral- stoffm. "Salvana"	endog. Kot-P %	Resorp- tions- quote in %	endog. Kot-P %	Resorp- tions- quote in %
VIII	C	61,9	72,0	62,4	72,3
IX	A	76,8	84,3	70,2	81,0
X	A	71,6	82,0	74,9	84,6
XI	Kn-fut- termehl	60,9	58,3	67,4	65,3
XII	"	62,2	60,6	66,9	66,0
XIII	"	73,2	64,6	70,2	65,3
XIV	"	62,8	65,6	62,5	64,8

Tabelle 1:

Resorptionsergebnisse aus den Versuchen an Jungindern

Tierbezeichnung			K 67	K 63	K 64	K 66
Mineralfutter			Dicalcium- phosphat	Dicalcium- phosphat	Thomasphos- phat	Thomasphos- phat
tgl. Gesamt-P-Zufuhr	g	a	9,3	9,3	9,3	9,3
P-Einnahme mit Grundfutter	g		3,3	3,3	3,3	3,3
P-Einnahme mit Supplement	g		6,0	6,0	6,0	6,0
tgl. Gesamt-P-Ausscheidung im Kot	g	b	6,19 + 0,52	4,3 + 0,43	4,40 + 0,57	4,22 + 0,87
endogener Kot-P in % des Gesamt-Kot-P	%		60,9	64,2	56,0	72,9
endogener Kot-P/Tag	g	c	3,77 + 0,48	2,7 + 0,31	2,46 + 0,87	3,08 + 0,22
exogener Kot-P/Tag	g	b-c	2,42	1,60	1,94	1,14
scheinbar resorbierte P-Menge/Tag	g	a-b	3,11	5,00	4,90	5,08
tatsächlich resorbierte P-Menge/Tag	g	a-(b-c)	6,88	7,70	7,36	8,16
"scheinbare Verdaulichkeit" des Futter-P	%	$\frac{a-b}{a} \times 100$	33,4	53,8	52,6	43,9
"wahre Verdaulichkeit" des Futter-P	%	$\frac{a-(b-c)}{a} \times 100$	73,9 + 2,9	82,7 + 1,6	81,7 + 0,99	87,7 + 1,0

Tabelle 2:

Resorptionsergebnisse aus den Schafversuchen

Tierbezeichnung		S II	S IV	S IX	S X	S I	S III
Mineralfutter		Mineral- stoffm. A ⁺⁾	Mineral- stoffm. A	Mineral- stoffm. A	Mineral- stoffm. A	Mineral- stoffm. B ⁺⁾	Mineral- stoffm. B
tgl. Gesamt-P-Zufuhr	g	3,04	3,04	2,91	3,17	3,04	3,04
P-Einnahme m. Grundft.	g	1,04	1,04	0,91	1,17	1,04	1,04
P-Einn. mit Supplement	g	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
tgl. Ges.-P-Ausscheidg. im Kot	g	2,61 + 0,19	2,24 + 0,34	1,62 + 0,20	2,51 + 0,23	2,78 + 0,20	3,05 + 0,17
endogener Kot-P i. % des Gesamtkot-P	%	77,3	76,1	76,8	71,6	82,1	78,2
endogener Kot-P/Tag	g	2,01 + 0,17	1,70 + 0,26	1,24 + 0,07	1,80 + 0,22	2,28 + 0,21	2,39 + 0,22
exogener Kot-P/Tag	g	0,60	0,54	0,38	0,71	0,58	0,66
scheinbar resorbierte P-Menge/Tag	g	a-b	0,80	1,29	0,66	0,26	0,01
tatsächl. resorbierte P-Menge/Tag	g	a-(b-c)	2,46	2,53	2,46	2,42	2,34
"scheinbare Verdaulichk." des Futter-P	%	$\frac{a-b}{a} \times 100$	26,3	43,0	22,0	8,60	----
"wahre Verdaulichkeit" des Futter-P	%	$\frac{a-(b-c)}{a} \times 100$	82,0 ± 2,7	84,3 ± 0,85	82,0 ± 3,08	80,6 ± 2,30	78,0 ± 2,10

+) Bei diesen Mineralstoffuntersuchungen handelt es sich um "Salvana", ein Erzeugnis des Tranatogen-Werkes in Elmshorn/Holstein.

Tabelle 3: Resorptionsbestimmungen aus den Schafversuchen

Tierbezeichnung		S V	S VI	S VIII	S XI	S XII	S XIII	S XIV
Mineralfutter		Mineral- stoffm. C	Mineral- stoffm. C	Mineral- stoffm. C	Kn. fut- termehl	Kn. fut- termehl	Kn. fut- termehl	Kn. fut- termehl
tgl. Ges. - P-Zufuhr	g	3,03	3,03	3,40	3,04	3,04	2,91	2,36
P-Einnahme m. Grundft.	g	1,03	1,03	1,40	1,04	1,04	0,91	0,36
P-Einnahm. m. Supplem.	g	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
tgl. Gesamt-P-Aus- scheidung im Kot	g	2,96 + 0,20	3,16 + 0,19	2,49 + 0,09	3,30 + 0,17	3,21 + 0,30	2,85 + 3,31	2,19 + 0,05
endogener Kot-P in % des Gesamt-Kot-P	%	74,3	79,1	61,9	60,9	62,2	73,2	62,8
endogener Kot-P/Tag	g	2,20 + 0,24	2,49 + 0,23	1,54 + 0,71	2,01 + 0,14	1,99 + 0,26	2,08 + 0,31	1,38 + 0,05
exogener Kot-P/Tag	g	0,76	0,67	0,95	1,29	1,22	0,97	0,81
scheinbar resorbierte P-Menge/Tag	g	0,07	-0,13	0,91	-0,26	-0,17	+0,06	0,17
tatsächlich resorbierte P-Menge/Tag	g	2,28	2,37	2,45	1,75	1,82	1,94	1,55
"scheinbare" Verdau- lichkeit d. Futter-P	%	$\frac{a-b}{a} \times 100$	2,6	26,7	---	---	2,0	7,2
"wahre" Verdaulich- keit des Futter-P	%	$\frac{a-(b-c)}{a} \times 100$	76,0 + 2,2	79,0 + 3,5	72,0 + 1,3	58,3 + 4,2	60,6 + 2,6	65,6 + 2,1

Tabelle 4:

6 Einzelwerte aus dem Schlafversuch VIII

TCF	Datum	6. 12.	8. 12.	10. 12.	12. 12.	14. 12.	15. 12.						
	Aktivität	229,0	195,8	180,3	144,7	109,2	110,8						
	spez. Aktivität	4673,4	2719,4	2341,5	1879,2	1516,6	1288,8						
	Menge in ccm	2200	2000	1800	2300	700	2180						
	Harn	1018	1020	1018	1016	1030	1018						
	spez. Gewicht	125,5	108,0	221,5	258,0	109,2	197,2						
	Aktivität	4827,9	2700,0	2260,2	1842,8	1423,8	1272,4						
	spez. Aktivität	7. 12	9. 12.	11. 12.	13. 12.	15. 12.	17. 12.						
	Kot	340	325	260	280	345	250						
	Datum	459,5	303,9	246,5	193,9	129,2	147,9						
	Gewicht in g der TS	2854,0	1831,0	1484,8	1114,7	891,0	770,3						
	Aktivität	2,74	2,70	2,16	2,43	2,50	2,40						
	spez. Aktivität												
totaler Kot-P in g													
	TCF	Harn	TCF	Harn	TCF	Harn	TCF	Harn					
	endogener Kot-P	61,0	59,1	67,3	67,8	63,3	65,6	59,3	60,4	58,0	62,5	59,7	60,5
	in g	1,67	1,62	1,82	1,83	1,37	1,42	1,44	1,47	1,45	1,56	1,43	1,45
	exogener Kot-P in g	1,07	1,12	0,88	0,87	0,79	0,74	0,99	0,96	1,05	0,94	0,97	0,95
	Resorptionsquote in g	2,33	2,28	2,52	2,53	2,61	2,66	2,41	2,44	2,35	2,46	2,43	2,45
	"wahre" Verdaulichkeit in %	68,5	67,0	74,1	74,4	76,7	78,2	73,2	71,7	69,1	72,3	71,4	72,0

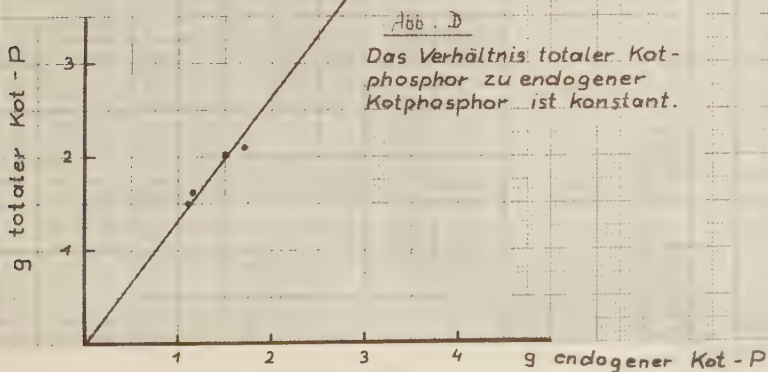
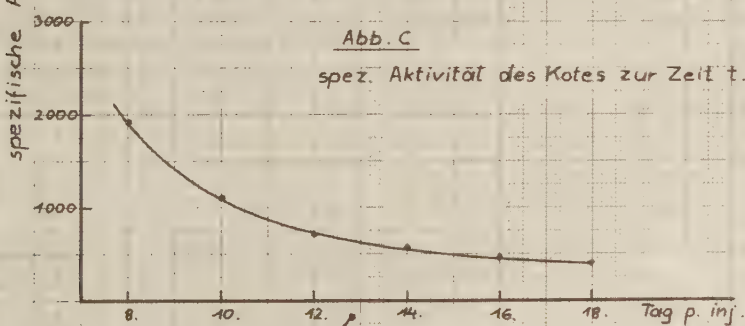
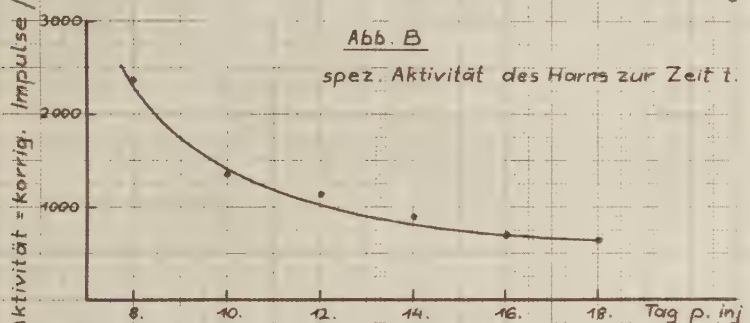
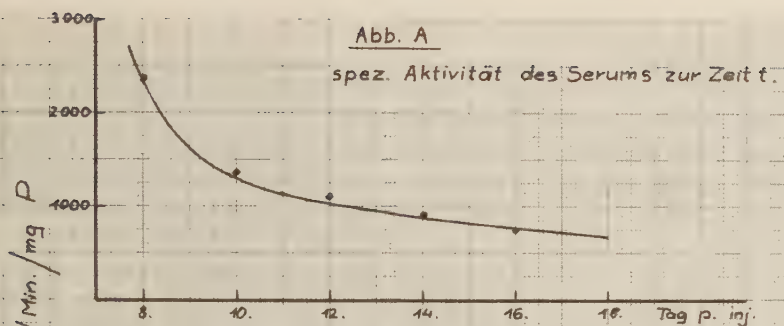
Tabelle 5:

Zusammenfassung der von verschiedenen Autoren mit Hilfe der Isotopenverdünnungsmethode ermittelten Resorptionsergebnisse

Autoren	Versuchstiere	tgl. P-Einnahme in mg bzw. g	endogener K.-P % des Gesamt-P	in % "wahre" Verdaulichk.
Hevesy Hahn Rebbe (12)	5 Ratten 208 g Kgw.	30 mg	38 40,5 32 41 44	/
Kjerulf- Jensen (14)	2 Ratten A: 240 g Kgw. B: 230 g	A: 75,5 B: 74,0 94,2 97,7 96,3 93,0 159,2 158,0 235,4 235,0	A: 39,0 B: 46,0 24,8 26,7 26,7 28,8 27,7 24,7 29,2 31,3	A: 70,4 B: 80,4 56,0 61,9 59,7 51,0 51,1
Buyse (3)	3 Kühe A: 479 kg Kgw. B: 452 kg " C: 450 kg "	A: 21,07 B: 21,07 C: 26,97 23,13 } als Heu	A: 59,1 45,9 B: 60,5 C: 69,4	A: 63,0 52,0 B: 55,0 C: /
Kleiber Smith u. a. (16)	2 Kühe A: 427 kg Kgw. B: 430 kg "	A: 37,1 B: 12,2 } als Heu	A: 43,0 70,0	A: 50,0 B: 64,0
Lofgreen Kleiber (16)	9 Schafe	1. 2,31 2. 2,31 3. 2,49 4. 2,49 5. 2,31 6. 2,53 7. 2,36 8. 2,53 9. 2,36 (als Heu)	1. 95,0 2. 93,0 3. 75,0 4. 84,0 5. 93,0 6. 93,0 7. 93,0 8. 91,0 9. 90,0	1. 96,0 2. 95,0 3. 81,0 4. 88,0 5. 94,0 6. 96,0 7. 95,0 8. 94,0 9. 93,0

Fortsetzung auf Seite 26!

Autoren	Versuchstiere	tgl. P-Einnahme in mg bzw. g	endogener K.-P % des Gesamt-P	in % "wahre" Verdaulichkeit
Luick Lofgreen (23)	4 Schafe	Luzerneheu ad libitum	$\frac{1.}{2.}$ 88,0 $\frac{3.}{4.}$ 77,0 $\frac{2.}{4.}$ 70,0 $\frac{4.}{70,0}$	$\frac{1.}{2.}$ / $\frac{3.}{4.}$ / $\frac{2.}{2.}$ /
Lofgreen Kleiber Luick (18)	4 Kälber 1. 57 kg Kgeew. 2. 68 kg " 3. 27 kg " 4. 36 kg " " "	$\frac{1.}{2.}$ / $\frac{3.}{4.}$ 0,607 0,810 als Casein	$\frac{1.}{2.}$ 70,0 $\frac{3.}{4.}$ 62,0 $\frac{2.}{3.}$ 74,0 $\frac{4.}{75,0}$	$\frac{1.}{2.}$ / $\frac{3.}{4.}$ 93,0 $\frac{2.}{3.}$ 93,0 $\frac{4.}{94,0}$
Tillman Brethour (24/25)	10 einjährige Stiere	Phosphorsäure 10,16	62,6	76,3
		Dicalciumphos. 10,16	58,5	75,2
	12 Schafe	Ca - Phytat 2,14	66,8	62,6
		Monocalc. Phos. 2,14	73,0	69,6
Lörcher (20)	5 Schafe	$\frac{1.}{2.}$ 5,2 } als Heu 2,2,7 } 3,2,7 } 4,6,0 } Dicalcium- 5,6,0 } phospat	$\frac{1.}{2.}$ 76,6 2,64,5 3,68,0 4,46,5 5,49,9	1,78,0 2,62,6 3,65,4 4,47,5 5,49,5
	4 Kälber	$\frac{1.}{2.}$ 9,0 } Thomas- 2,9,0 } phospat 3,9,2 } Dicalcium- 4,9,2 } phospat	1,62,8 2,70,8 3,48,7 4,48,5	1,62,0 2,85,5 3,71,0 4,71,4



DISKUSSION

Durch die vorliegenden Untersuchungen war erneut zu bestätigen, daß die bisher den Phosphor-Resorptionsbestimmungen an Wiederkäuern entgegenstehende Ausscheidung von Phosphor in den Darmkanal hinein methodisch durch die Anwendung der Isotopenverdünnungsmethode beherrscht werden kann. Dieses Verfahren, das auf der Signierung des Stoffwechselphosphors beruht und die Testung von Mineralverbindungen jeglicher Art gestattet, ist dabei der Methode überlegen, die jeweils zu untersuchende Verbindung selbst radioaktiv zu markieren. Die dynamische Isotopenverdünnung fußt auf der Bestimmung der spezifischen Phosphoraktivität, d.h. also auf dem Verhältnis $P^{32} : P^{31}$ nach vorheriger parenteraler Zufuhr und gleichmäßiger Verteilung einer Radiophosphatdosis. Die spezifische Aktivität der Faeces wird zu derjenigen des Blutserums in Beziehung gesetzt, woraus sich die Höhe des endogenen Anteils der Gesamtphosphorauscheidung errechnen läßt.

ZUR METHODE

Zu Beginn der Versuchsreihen den Resorptionskoeffizienten verschiedener Futterphosphate an Wiederkäuern zu ermitteln, wurde an einem zweijährigen Schaf die bisherige, in der Literatur beschriebene Erfahrung in Zusammenarbeit mit LÖRCHER (20) bekräftigt, daß das "steady state", also die gleichmäßige Verteilung der Aktivitäten auf die betreffenden Phosphorfractionen im Organismus, bis zum siebenten Tag nach subcutaner Verabreichung einer radioaktiven Natriumphosphatlösung erreicht wird. Außerdem wurde noch einmal bestätigt, daß das Maximum der P^{32} -Aktivität im Blutserum 24 Stunden früher als im Kot auftritt. Die spezifische Aktivität des Trichloressigsäurefiltrates des Serum (TCF) zur Zeit t muß mit der des Kot-aufschlusses zur Zeit $t + 24$ Stunden in Beziehung gesetzt werden.

Bei der subcutanen Injektion von radioaktivem Tricalciumphosphat - nach Angaben von LUICK und LOFGREEN (22) - tritt das "steady state" bereits nach 3 - 4 Tagen ein. Diese Methode bedeutet zwar eine Zeitersparnis, aber in den hiermit durchgeführten Schafversuchen hat sich eine bedeutende Abweichung von den Meßergebnissen gezeigt. Aus zeitlichen Gründen konnte der Ursache bisher noch nicht nachgegangen werden. - Auch die günstigen Erfahrungen von LOFGREEN und KLEIBER (17) haben sich nicht bekräftigen lassen, wonach die während der Versuchszeit anfallenden Kotmengen homogenisiert und nur einmal analysiert werden. Die chemisch ermittelte Phosphorkonzentration stimmte wohl mit dem Durchschnitt der sechs Einzelanalysen überein, jedoch lag die P^{32} -Aktivität hierbei stets um 17 - 20 % zu niedrig.

Wie bereits erwähnt, waren bei allen sieben hier mitgeteilten Schafversuchen die spezifischen Serumaktivitäten gleich groß wie diejenigen des Harns, ohne daß bei dessen Berechnung auf die tägliche Ausscheidungsmenge oder das spezifische Gewicht Rücksicht genommen werden mußte. Sollten sich diese Ergebnisse durch weitere Versuche bestätigen lassen, so bedeutet dies für Schafe eine wesentliche Vereinfachung der bisherigen Methode zur Erfassung des prozentualen endogenen Kotphosphors. Auf die wiederholten, zeitraubenden Blutentnahmen kann dann verzichtet werden. KJERULF-JENSEN (14) hat dies zwar schon 1941 für Ratten bestätigt. Die von LOFGREEN, KLEIBER (17) und LÖRCHER (20) an Schafen gemachten Erfahrungen sprechen aber bisher gegen die Verwendung des Harnes als Basis für die Vergleichsmessung.

Aus den in den Tabellen 1-4 zusammengestellten Ergebnissen zur Ermittlung des Resorptionskoeffizienten aus verschiedenen Mineralstoffmischungen bei Jungrindern und Schafen ist zu ersehen, daß gut übereinstimmende Meßwerte erhalten werden konnten. Dies wurde durch entsprechende Haltung und Fütterung während einer genügend langen Vorbereitungszeit und während des Versuches selbst erreicht. - Die Messung der Aktivitäten ist in flüssigen Präparaten vorgenommen worden, obgleich diese Form eine geringere Anzahl von Impulsen liefert als der feste Niederschlag. Hinsichtlich der Routineuntersuchungen ist diese weniger zeitraubende, aber ebenso genaue Methode jedoch vorteilhafter.

ZU DEN ERGEBNISSEN

Im Rahmen der Ermittlung der Resorptionskoeffizienten von Mineralstoffverbindungen war in dieser Arbeit zunächst die Phosphorresorption aus Dicalciumphosphat und Thomasmehl an Jungrindern zu ermitteln. Weiterhin sind an Hammeln die Phosphorresorptionskoeffizienten aus verschiedenen zusammengesetzten Mineralmischungen und aus Knochenfuttermehl zu bestimmen gewesen. Die zu testenden Mineralstoffverbindungen wurden jeweils auf der Basis eines mineralarmen Grundfutters verabfolgt, so daß die hinsichtlich der Verwertung zu prüfenden Phosphorsalze zu etwa 65 % den jeweiligen täglichen Bedarf des Tieres gedeckt haben ohne die tägliche Bedarfshöhe zu überschreiten.

Der Phosphorresorptionskoeffizient bei 6-8 Monate alten Jungrindern mit Dicalciumphosphatzulagen lag im Durchschnitt bei 78,3 %. Dieser Wert steht in guter Übereinstimmung mit den von TILLMAN und BRETHOUR (24) ermit-

telten Befunden: An einjährigen Stieren stellten sie einen Resorptionskoeffizienten für Phosphor aus Dicalciumphosphat von 75,2 % fest; selbst eine Fütterung mit reiner Phosphorsäure ergab nach diesen Autoren keine günstigeren Ergebnisse. Auch LÖRCHER (20) fand bei Jungrindern eine 71 %ige P-Resorption aus einer Ration mit höheren Anteilen Dicalciumphosphat.

Einer weiteren Gruppe von Jungrindern wurde ein mit Thomasmehl ergänztes Futter verabreicht. Die Phosphorverwertung dieses Düngephosphates liegt mit 84,7 % höher als bei Dicalciumphosphat. Dieses Ergebnis ist eine Bestätigung der von LÖRCHER (20) ebenfalls aus Thomasphosphat ermittelten Resorptionskoeffizienten von 84,0 %. Trotz des hohen Verwertungsgrades ist jedoch nach BRÜGGEMANN und BRONSCH (2) von der Verwendung dieses Phosphates als Mineralfutter abzuraten, da sich hiermit nur dann eine Minerallücke in der Ernährung schließen läßt, wenn wie hier größere Mengen gegeben werden. Diese sind aber zum Beispiel für Schafe und Geflügel toxisch und setzen bei anderen Nutztieren die Schmackhaftigkeit des Futters herab.

Auch bei der Zusammenstellung der Grundration für Schafe, an denen der P-Resorptionskoeffizient verschiedener Mineralstoffmischungen gemessen wurde, mußte auf weitgehende Phosphorarmut geachtet werden, damit das zu testende Stoffgemisch einen verhältnismäßig hohen Anteil an der Gesamtposphorzufuhr einnehmen kann, ohne dabei den täglichen Bedarf von etwa 3 g Phosphor wesentlich zu übersteigen. Sonst ist nach den bisher vorliegenden Erfahrungen eine Resorptionshemmung zu erwarten. Ebenso soll die Kost trotzdem die für Schafe wichtigsten Nährstoffe enthalten, um weitgehend physiologische Bedingungen zu schaffen. - Jedem Versuch ging eine fünfwöchentliche Fütterungsvorbereitung voraus, bei der sowohl die Grunddiät als auch das jeweils zu testende Mineralstoffgemisch verfüttert wurde. Anhand der Gewichtskontrolle war sichergestellt, daß die Rationen keinen nachhaltigen Einfluß auf die Tiere hatten. Bei der einen Hälfte der Schafe ist auf einen Zusatz von Vitaminen verzichtet worden, bei den restlichen wurden jedoch - dem Alter entsprechend - tägliche Mengen von 1620 I.E. Vitamin A und 354 I.E. Vitamin D₃ unter die Kost gemischt. Die Phosphorresorptionsergebnisse beider Gruppen zeigten untereinander aber keine Abweichungen, die auf die Vitaminzufuhr zurückgeführt werden könnte.

An vier Versuchstieren wurde die Verdaulichkeit einer von der DLG anerkannten Mineralstoffmischung A ("Salvana", Tranatogen-Werk, Elmshorn) bestimmt, deren Phosphorgehalt hauptsächlich durch den hohen Anteil des

Knochenfuttermehls bedingt ist. 65,7 % der Gesamtphosphorzufuhr wurden über die zu untersuchende Mischung zugeführt. Die Phosphorresorption lag im Durchschnitt bei 82,0 % (80,0, 82,0, 84,3, 82,0 %). Dieses gute Ergebnis wurde trotz des ungünstigen Ca/P-Quotienten von 5,2 : 1 in der Ration erzielt, der in erster Linie auf die Mineralstoffmischung zurückzuführen ist. Der Phosphorresorptionskoeffizient nach Supplementierung mit reinem Knochenfuttermehl lag im Mittel bei 62,3 % (58,3, 60,6, 64,6, 65,6), obwohl hier in der Ration ein Ca/P-Verhältnis von 2,8 : 1 vorlag. Dies deutet darauf hin, daß das Ausmaß der Phosphorresorption auch durch Spurenelemente, wie sie in den anderen Mineralstoffmischungen einschl. Thomasphosphat enthalten waren, beeinflußt werden kann.

Bei weiteren zwei Hammeln wurde als zu untersuchende Zulage ein Mineralstoffgemisch B ("Salvana", Tranatogen -Werk Elmshorn) verfüttert, das der Ration einen Ca/P-Quotienten von 3,6 : 1 verlieh und selbst noch einen Gehalt an Bolus alba von 32 % aufwies. Der Durchschnittswert der Phosphorresorption mit 79,3 % (80,6, 78,0) steht mit dem Ergebnis der Mineralstoffmischung A in Übereinstimmung.

In der dritten Versuchsreihe wurde an drei Schafen der Resorptionskoeffizient eines Mineralstoffgemisches C ("Salvana", Tranatogen -Werk Elmshorn) ermittelt, das eine ähnliche Zusammensetzung hatte wie die Mineralstoffmischung B. Der Unterschied bestand in der Phosphorsäurekomponente, die sich aus einem mit thermischer Phosphorsäure behandelten Aluminiumphosphat zusammensetzte. Mit durchschnittlich 75,7 % (76,0, 79,0, 72,0) weicht die Resorptionsgröße nur unwesentlich von den oben genannten Resultaten ab.

Die Phosphorverwertbarkeit aus diesen drei Mineralstoffmischungen A, B und C liegt gegenüber den von TILLMAN und BRETHOUR (24) erhaltenen Ergebnissen bei der Prüfung von Monocalciumphosphat deutlich höher; die Autoren haben an gleichaltrigen Schafen hierbei nur eine 69,6 %ige Phosphorausnützung feststellen können. Vergleiche zur Verwendung anderer mehr oder weniger reiner Salze wie Knochenfuttermehl und Thomasphosphat drängen sich auf. Dennoch liegen die Resorptionskoeffizienten für Phosphor aus Mineralstoffmischungen höher als bei vegetabilem Futter. Nach BUYASSE (3), KLEIBER, SMITH u. Mitarb. (15) und LÖRCHER (20) wird im Heu nur eine Phosphorausnützung von 50 bis 65 % gefunden.

Abschließend ist festzustellen, daß die "wahre" Verdaulichkeit von Futterphosphaten nach der dynamischen Isotopenverdünnungsmethode, also durch

die radioaktive Markierung des Stoffwechselphosphors beim Tier, ohne Schwierigkeiten ermittelt werden kann und sich die Methode für praktische Routineuntersuchungen gut bewährt hat. Die aus den Tabellen ersichtlichen Werte der "scheinbaren" Phosphorauswertung zeigen deutlich, daß sie nicht im geringsten mit den wirklichen Ergebnissen übereinstimmen. Ein weiterer Vorteil dieser Methode liegt darin, daß zu den jeweiligen Resorptionsbestimmungen die Tierart verwendet werden kann, für welche die Aussage verwertet werden soll. Zudem erleiden die Versuchstiere keine Wertminderung. Auch kann durch die bei diesen Messungen notwendig werdende Verabreichung größerer Mineralstoffmengen geprüft werden, ob diese Verbindungen für die betreffende Tierart überhaupt verträglich sind. So zeigte sich zum Beispiel in einem Fall, daß Thomasphosphat als Mineralfutter besonders für Schafe ungeeignet ist (2). -

Unter Berücksichtigung dieser Versuchsergebnisse und der aus der Literatur bekannten verminderten Resorptionsgröße für rein vegetabile Futter, ist demnach zwischen der Verwertbarkeit von Phosphor aus pflanzlichen Futtermitteln und aus anorganischen Verbindungen ein Unterschied zu machen, der für künftige Nährstoffberechnungen wichtig werden kann.

ZUSAMMENFASSUNG

1. An jugendlichen und erwachsenen Wiederkäuern wurde der Resorptionskoeffizient für Phosphor aus verschiedenen Mineralstoffmischungen ermittelt.
2. Da der Stoffwechselphosphor bei diesen Tieren überwiegend mit den Faeces und nur zu einem kleinen Teil über die Nieren exkretiert wird, ist seine quantitative Erfassung nur dann möglich, wenn der in den Faeces enthaltene Phosphor in seinen endogenen und exogenen Anteil fraktioniert werden kann. Für den praktischen Einsatz empfiehlt sich hierzu die radioaktive Markierung des Stoffwechselphosphors nach der von HEVESY, HAHN und REBBE (12) vorgeschlagenen dynamischen Isotopenverdünnungsmethode.
3. Das Verfahren ist in einzelnen Punkten durch eigene Erfahrungen vervollständigt worden.

4. Ohne den täglichen Phosphorbedarf zu überschreiten wurden die Versuche so eingerichtet, daß zu einer mineralarmen, jedoch sonst vollwertigen Grunddiät die jeweils zu prüfende Mineralstoffmischung zu durchschnittlich 65 % an der Phosphorzufuhr beteiligt ist.
5. Bei zwei 7 - 8 Monate alten Jungrindern mit Dicalciumphosphatzulagen zeigte sich ein Phosphorresorptionskoeffizient von durchschnittlich 78,3 %.
6. Thomasphosphat hatte bei denselben Tieren dagegen eine Phosphorresorption von 84,7 % erkennen lassen.
7. Der Phosphoranteil aus einem von der DLG anerkannten Mineralfutter A ("Salvana", Tranatogen-Werk Elmshorn) mit hohem Gehalt an Knochenfuttermehl wurde von vier erwachsenen Hammeln zu 82,0 % ausgenützt.
8. Die Phosphorverdaulichkeit von reinem Knochenfuttermehl lag dagegen bei weiteren vier Hammeln nur bei 62,3 %.
9. Die Mineralstoffmischung B ("Salvana" Tranatogen-Werk Elmshorn) mit einem synthetischen Phosphorträger zeigte mit 79,3 % eine praktisch gleichgroße Phosphorresorption wie aus der Mischung A.
10. Bei dem Mineralstoffgemisch C ("Salvana", Tranatogen-Werk Elmshorn), dessen Phosphorträger ein mit synthetischer Phosphorsäure behandeltes Aluminiumphosphat ist, betrug der Resorptionskoeffizient im Mittel 75,7 %.
11. Phosphat aus hier geprüften Mineralfuttern wurde von Wiederkäuern besser verwertet als der Phosphor aus vegetabilem Futter.

L I T E R A T U R A N G A B E

- 1; BERGEIM, O. A method for the study of food utilization or digestibility, J. of biol. Chem., 70, 29 (1926)

A method for the study of absorption in different parts of the gastrointestinal tract, J. of biol. Chem., 70, 47 (1926)

The absorption of Calcium and Phosphorus in small and large intestines, J. of biol. Chem., 70, 51 (1926)
2. BRÜGGEMANN, J., Studie zur Verwendung von Thomas-
BRONSCH, K.: mehl als Mineralfutter, Ztschr. für Tierernährung, Tierphysiologie und Futtermittelkunde, 14, 93 (1959)
3. BUYSSE, F.: Het bepalen der endogene Feces-Phosphor met de radioactieve Phosphorisotop P^{32} , Medd. Landb.-Hocheschool, Gent, 17, 391 (1952)
4. CHIEWITZ, O., Radioactive indicators in the
HEVESY, G. study of Phosphorus metabolism in rats, Nature, 136, 754 (1935)
5. COHN, W.E., Studies in mineral metabolism
GREENBERG, D.M. with the aid of artifical radioisotopes. I. Absorption, distribution and excretion of Phosphorus, J. of biol. Chem., 123, 185 (1938)

6. COMAR, C.L.,
MONROE, R.A.,
VISEK, W.G.,
HANSARD, S.L. Comparison of two isotope methods
for determination of endogenous
fecal Calcium,
J. Nutr., 50, 459 (1953)
7. FISKE, C.H.,
SUBBAROW, J. The colorimetric determination of
Phosphorus,
J. biol. Chem., 66, 375 (1925)
8. FORBES, E.B.,
SCHULZ, A.,
HUNT, C.H.,
WINTER, A.R.,
REMLER, R.F. The mineral metabolism of the
milk cow,
J. biol. Chem., 52, 281 (1922)
9. FOURNIER, P.,
DUPUIS, Y. Une méthode d'évaluation indirecte
du taux de l'absorption des composés
phosphorés à différent niveaux du
tube digestif,
J. de Physiolog., 45, 443 (1953)
10. HANSARD, S.L.,
COMAR, C.L.,
PLUMLEE, M.P.,
HOBBS, C.S. Integration of concurrent chemical
and radioisotope balance trials
for the interpretation of Calcium
metabolism studies,
J. dairy Sci., 34, 508 (1951)
11. HANSARD, S.L.,
COMAR, C.L.,
PLUMLEE, M.P. Absorption and tissue distribution of
radiocalcium in cattle,
J. Animal Sci., 11, 524 (1952)
12. HEVESY, G.,
HAHN, L.,
REBBE, O. Excretion of Phosphorus,
Biol. Medd. XIV, 3 (København
1939)
13. HEVESY, G. Radioactive indicators,
Interscience Publ. New York (1948)

14. KJERULF-JENSEN, K. Excretion of Phosphorus by the bowel,
Acte physiol. scand. 3, 1
(1941/42)
15. KLEIBER, M., Radiophosphorus (P^{32}) as tracer
SMITH, A. H., for measuring endogenous Phos-
RALSTON, N. P., phorus in cow's feces,
BLACK, A. L. J. Nutr. 45, 253 (1951)
16. LOFGREEN, G. P., The availability of the Phos-
KLEIBER, M. phorus in alfalfa hay,
J. Anim. Sci. 12, 366 (1953)
17. LOFGREEN, G. P., Further studies on the availability
KLEIBER, M. of Phosphorus in alfalfa hay,
J. Anim. Sci. 13, 258 (1954)
18. LOFGREEN, G. P., The metabolic fecal Phosphorus
KLEIBER, M., excretion of the young calf,
LUICK, J. R. J. Nutr. 47, 571 (1952)
19. LOFGREEN, G. P., The excretion of injected P^{32}
KLEIBER, M., into the gastrointestinal tract
SMITH, A. H. of the young calf.
J. Nutr. 47, 561 (1952)
20. LÖRCHER, K.: Zur Resorption und Ausscheidung
des Phosphors beim Tier,
Med. vet. Diss., München 1959
21. LORENZ, v. N. Bestimmung der Phosphorsäure in
sekundärem Calciumphosphat als
Ammoniumphosphormolybdat; aus
NEHRING, K.:
Agrikulturchem. Praktikum, Quantita-
tive Analyse, Parey-Verlag, Berlin
1951

22. LUICK, J.R.,
LOFGREEN, G.P. An improved method for the deter-
mination of metabolic fecal Phos-
phorus,
J. Anim. Sci. 16, 201 (1957)
23. NICOLAYSEN, R. The influence of Vit. D on the
fecal output of Calcium and Phosphorus
in the rat,
Biochem. J. 31, 107 (1937)
24. TILLMAN, A.D.,
BRETHOUR, J.R. Utilization of Phytin-Phosphorus
hysheep,
J. Anim. Sci. 17, 104 (1958)
25. TILLMAN, A.D.,
BRETHOUR, J.R. Dicalciumphosphate and phosphoric
acid as Phosphorus sources for beef
cattle,
J. Anim. Sci. 17, 100 (1958)

Am Ende meiner Arbeit erlaube ich mir, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. Dr. Johannes B r ü g g e m a n n, für die Überlassung des Themas aufrichtigen Dank zu sagen.

Weiterhin gilt mein herzlicher Dank Herrn Privatdozent Dr. Kurt Bronsch aus dem Institut für Physiologie und Ernährung der Tiere für die Unterstützung und Förderung meiner Arbeit.

LEBENS LAUF

Am 20. September 1935 wurde ich als Tochter des Versicherungskaufmannes Hans Seuss und dessen Ehefrau Maria, geb. Klotz in Freiburg/Breisgau geboren. Nach 4 Klassen Volksschule besuchte ich das Droste-Hülshoff-Gymnasium in Freiburg, wo ich an Ostern 1956 die Reifeprüfung bestanden habe. Mit dem Sommer-Semester 1956 begann ich an der Tierärztlichen Fakultät der Universität München das Studium der Tierheilkunde, das ich im Anschluß an das Winter-Semester 1960/61 mit dem Staatsexamen abschloß.

Seit 1. April 1961 arbeite ich bei Herrn Dr. Hoyer, praktischer Tierarzt in Dietfurt/Altmühl als Veterinärpraktikantin.

